

# Protokoll: Röntgenröhre

Philipp Hacker

19. Dezember 2014

Betreuer: M. von der Ehe  
Versuchsdatum: 09./10.12.2014

Note:

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>3</b>
2.1	Röntgenstrahlung . . . . .	3
2.2	Bragg-Reflexion . . . . .	4
2.3	Duane-Hunt-Verschiebung . . . . .	4
2.4	Röntgenspektroskopie . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Durchführung</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Auswertung</b>	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>Quellen</b>	<b>7</b>

# 1 Einleitung

Die Methode der Röntgenspektroskopie ist Grundlage vieler wichtiger spektroskopischer Untersuchungen wie z.Bsp. Photoelektronenspektroskopie (XPS). Nach seiner Entdeckung 1895 durch *W. C. Röntgen* wird die Röntgenstrahlung heutzutage nicht nur in der Medizin, sondern auch vermehrt in der Materialphysik und Kristallographie verwendet. Dabei macht man sich ihre Eigenschaften unter Beugung an Kristallebenen und hohe Strahlungsenergie zur Nutze. Unter anderem ist die chemische Zusammensetzung einer Probe durch die XPS ableitbar, was in der Untersuchung von DNA ausgenutzt wird.

In diesem Versuch soll am Beispiel von Eisen, Kupfer und Molybdän die Wechselwirkung von Röntgenstrahlung mit Materie untersucht und nachvollzogen werden. Aus den Ergebnissen dieser Messungen sollen wiederum das *Duane-Hunt'sche Verschiebungsgesetz* bestätigt und die *Planck-Konstante* bestimmt werden.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Röntgenstrahlung

Als Röntgenstrahlung bezeichnet man den Teil des Spektrums elektromagnetischer Strahlung zwischen, je nach Definition<sup>[I]</sup>, 100 keV und einigen MeV. In Wellenlängen, über die  $E = hc/\lambda$  Beziehung abgeleitet, ausgedrückt liegt die Röntgenstrahlung zwischen  $10^{-8}$  m und  $10^{-12}$  m.

Die ionisierende Strahlung kann auf 2 Arten entstehen. Einerseits wird die sie bei der starken Beschleunigung schneller, elektrisch geladener Teilchen in einem Coulomb-Feld erzeugt. Diese nennt man Bremsstrahlung und ihr Spektrum ist offensichtlich kontinuierlich. Andererseits können Übergänge sehr hoher Energiedifferenzen in der Elektronenhülle Röntgenstrahlung aussenden. Dieses Spektrum ist diskret.

Die in diesem Versuch genutzte Röntgenröhre nutzt beide Methoden. Die beschleunigt die aus der Glühkathode ausgelösten Elektronen über ein elektrisches Feld, wobei sie die kinetische Energie  $E_{\text{kin}} = qU_{\text{B}} = eU_{\text{B}}$  erhalten. Dabei ist  $U_{\text{B}}$  die Potentialdifferenz zwischen Kathode und Anode. Die hochenergetischen Elektronen treffen auf die Anode und können dort mehrere Effekte auslösen. Zum einen kann ein eintreffendes Elektron im Coulomb-Feld der Atome abgebremst und in seiner Flugbahn abgelenkt werden. Dadurch entsteht die Bremsstrahlung. Weiterhin ist es möglich, dass eines der schnellen Elektronen durch den Stoß mit einem Teilchen in der Hülle eines Anoden-Atoms eine Niveau-Änderung stimuliert. Die Relaxation dieses Zustandes sendet die für das Anodenmaterial charakteristische Röntgenstrahlung aus.

Es sei erwähnt, dass die Photonen beider Abstrahlprozesse noch mit dem Anodenmaterial wechselwirken können. Anwendung findet dieser Effekt in der Röntgenphotoelektronenspektroskopie XPS<sup>[II]</sup>. Dabei werden Elektronen unterer Schalen angeregt und in höhere Zustände gehoben. Wo genau das Elektron sich einsetzt und damit die Eigenschaften des Atoms verändert, hängt von dessen Ausgangszustand und der Anregung ab. Nach der Anhebung des Niveaus löst sich das Elektron aus der Elektronenhülle, wobei die verbleibende kinetische Energie über den Ausgangszustand vor der Anregung bestimmt ist.

## 2.2 Bragg-Reflexion

Trifft Röntgenstrahlung auf einen Kristall, so durchdringt diese fast vollständig den Festkörper. Ein Teil jedoch wird an seiner Gitterstruktur gebeugt. Die Röntgenbeugung findet an den verschiedenen Ebenen des Kristalls statt, für die gerade die sogenannten *Bragg-Bedingung* erfüllen<sup>[III]</sup> (siehe Gl. 1).

Die einlaufenden Wellen stehen mit ihrem Wellenvektor im Winkel  $\alpha$  zum Lot und haben damit den Bragg-Winkel  $\theta = 90^\circ - \alpha$  (siehe Abb. 1). Bei kohärenter Strahlung muss der Gangunterschied  $\delta$  zwischen einer an den oberen und unteren Gitterebenen reflektierten Welle ein vielfaches der Wellenlänge  $\lambda$  sein. Außerdem lässt sich über eine Winkelbeziehung  $\delta = d \sin(\theta)$  finden. Zusammenführen ergibt die besagte *Bragg-Bedingung*.

$$n\lambda = 2d \sin(\theta) \quad (1)$$

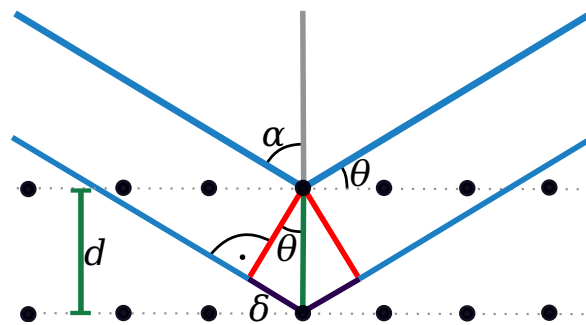


Abb. 1:  $2 - \theta$  - Anordnung an Kristallebenen mit dem Abstand  $d$  und einfallenden Wellen

## 2.3 Duane-Hunt-Verschiebung

Wie bereits beschrieben erfahren die aus der Glühkathode der Röntgenröhre ausgelösten Elektronen an der Anode eine negative Beschleunigung. Dabei kann ihre gesamte kinetische Energie in Strahlungsenergie übergehen. Mit dieser maximalen Bremsstrahlung korreliert eine minimale Wellenlänge  $\lambda_{\min}$ . W. Duane und F. Hunt konnten 1915 den in Gl. (2) gezeigten Zusammenhang empirisch beweisen. Nimmt man weiterhin die Beziehungen über die kinetische Energie der Elektronen und die Energie der Röntgenphotonen hinzu, so folgt Gl. (3). Die Übereinstimmung bestätigt somit das Experiment und die gemachten Annahmen.

$$U_B \cdot \lambda_{\min} \propto 1,25 \cdot 10^{-6} \text{ Vm} \quad (2)$$

$$\lambda_{\min} = \frac{h \cdot c}{e \cdot U_B} = \frac{1,2398 \cdot 10^{-6} \text{ Vm}}{U_B} \quad (3)$$

## 2.4 Röntgenspektroskopie

Im folgenden soll die Röntgenspektroskopie am Beispiel dieses Versuches erläutert werden. Legt man in die, in Abb. 1 gezeigte  $2-\theta$  - Anordnung, hinter den Lithiumfluorid-Kristall einen Detektor, so lässt sich, nach Gl. (1), die erzeugte Röntgenstrahlung als ein Energiespektrum vermessen. Mit der minimalen Wellenlänge  $\lambda_{\min}$  korrespondiert dabei ein minimaler Bragg-Winkel  $\theta_{\min}$ . Im Detektor erfahren gerade die Strahlen, welche der Bragg-Bedingung Gl. (1) genügen, eine konstruktive Interferenz. Dabei wird ein Zählrohr verwendet, welches die Intensität in Form von Photonen-Impulsen pro Sekunde Imp/s misst. Ein geeigneter Aufbau (siehe ??) lässt die entsprechende Winkelveränderung bezüglich des Röntgenstrahls bei fester Quelle zu. Eine solche Konstruktion nennt man Goniometer. Für diesen Aufbau erwartet man ein Spektrum wie in Abb. 2 mit den charakteristischen Peaks und dem Anteil der Bremsstrahlung bis  $\lambda_{\min}$ . Dabei verläuft die Skala analog: kleine Winkel bedeuten kleine Wellenlängen und damit große Energien.

Die Spannung zwischen Kathode und Anode  $U_B$  kann in diesem Versuch bis 35 kV geregelt werden. Dies entspricht einer kinetischen Energie von 40 keV und damit einer Wellenlänge von 35 pm. Der Strom durch den Glühdraht ist relativ gering und beträgt 1 mA. Es ist möglich, die Messung für einen Winkel über ein bestimmtes Zeitintervall durchzuführen und damit die Intensität schließlich darüber zu mitteln.

Unter Erhöhung der Spannung  $U_B$  verschiebt sich  $\lambda_{\min}$  zu geringeren Werten und beschreibt damit größere Energien. Die Position der charakteristischen Peaks verändert sich dabei nicht, wobei jedoch die Intensität insgesamt erhöht wird.

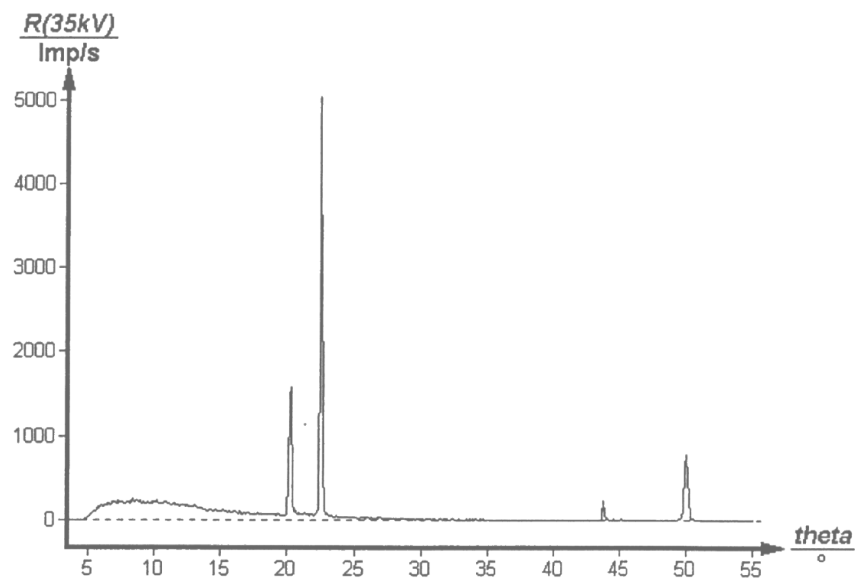
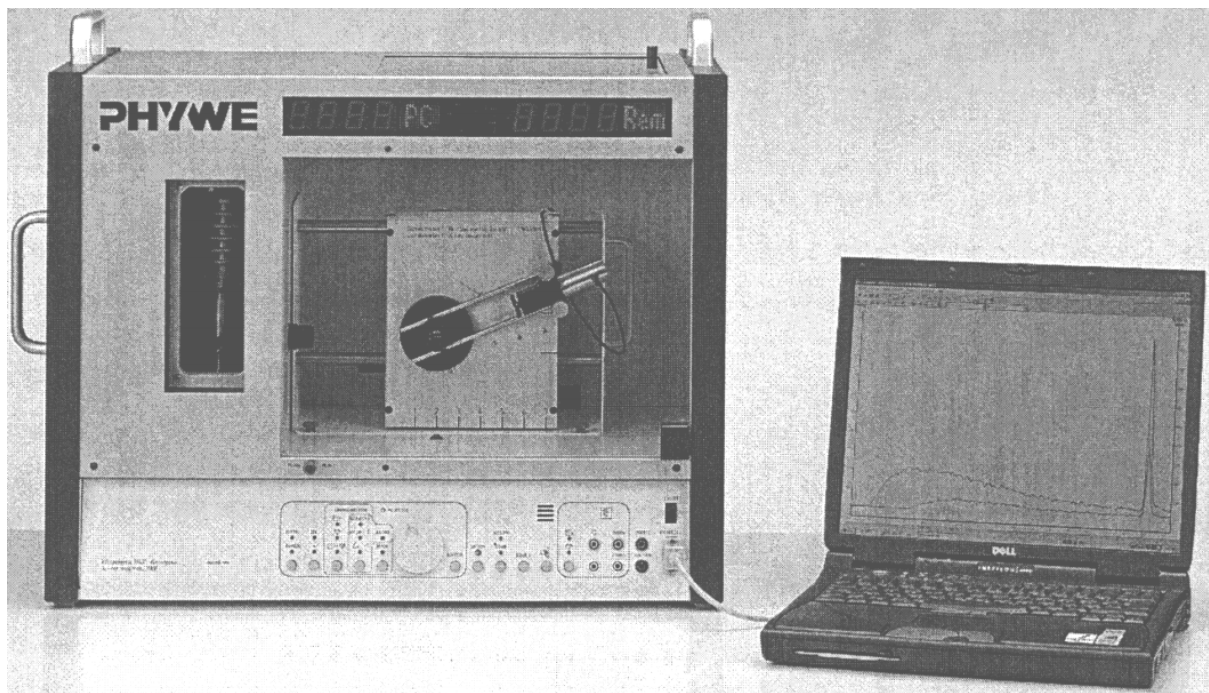


Abb. 2: Beispielspektrum einer Kupferanode, LiF-Kristall im Goniometer

### 3 Durchführung

Für die Anodenmaterialien Kupfer, Molybdän und Eisen werden die Röntgenspektren aufgenommen. Eingangs wird jeweils ein 'Referenzspektrum' bei 33 kV zwischen  $3,5^\circ$  und  $55^\circ$  bzw.  $60^\circ$  mit Schritten von  $0,1^\circ$  aufgenommen. Das Zeitintervall, die sogenannten Integrationszeit, beträgt hierbei 2 s.

Anschließend wird für jedes Anodenmaterial ein detaillierteres Spektrum entsprechend der Lage ihrer charakteristischen Peaks aufgenommen. Dabei wird die Beschleunigungsspannung zwischen 15 kV und 31 kV mit 2 kV-Schritten verändert. Dafür wurde die Integrationszeit konstant gelassen und der Winkelbereich eingeschränkt. Die verwendete Röntgenröhre mit Anschluss an einen PC, Goniometer und LiF-Kristall-Anordnung zeigt ??.



## 4 Auswertung

## 5 Quellen

[I] – <http://de.wikipedia.org/wiki/R%C3%B6ntgenstrahlung>

[II] – .../wiki/R%C3%B6ntgenphotoelektronenspektroskopie

[III] – .../wiki/Bragg-Gleichung

[IV] – .../wiki/Bragg-Gleichung; Abschn.: „Herleitung“, Abb. 1

[V] – Versuchsanleitung „Röntgenröhre“; Abschn.: Auswertung u. Durchführung, Abb. 2